

Sistem Pakar Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Nilam

Land Suitability Expert Systems for Patchouli Plant

MEUTHIA RACHMANIAH^{1*}, AKMAL AGUNG NUGRAHA

Abstrak

Lahan adalah campuran lingkungan fisik dan alam yang meliputi iklim, tanah, relief, dan hidrologi. Campuran tanah memiliki konsekuensi dari penggunaan lahannya. Di sisi lain, keberhasilan pertanian dan agroindustri dipengaruhi oleh keberhasilan budi daya pertaniannya. Penelitian ini bermaksud untuk membangun sistem pakar yang dapat digunakan untuk menentukan evaluasi lahan tanaman, khususnya untuk tanaman Nilam. Sistem Pakar Kesesuaian Lahan Nilam bertujuan untuk memberikan informasi tentang karakteristik lahan yang sesuai untuk tanaman Nilam. Peneliti memanfaatkan keahlian pakar untuk memberikan pengetahuan kepada sistem pakar yang dikembangkan. Input pemrosesan untuk sistem pakar terdiri atas dua format, yaitu input *fuzzy* dan input *non-fuzzy*. Pertama, *Fuzzy Inference System* (FIS) dengan metode Mamdani digunakan sebagai metode inferensi untuk *output fuzzy* diikuti dengan aplikasi *input non-fuzzy*. Sistem pakar menyediakan tiga kategori evaluasi, yaitu, pembudidayaan lahan yang sangat sesuai, sesuai, dan tidak sesuai untuk Nilam. Setiap kategori memiliki karakteristik lahan tertentu sesuai hasil evaluasi lahan. Selanjutnya, sistem pakar dinilai pada enam belas lahan berbeda untuk memverifikasi keakuratan sistem. Hasil penilaian menyajikan akurasi 75% ketika diverifikasi menggunakan penilaian ahli manusia.

Kata kunci: *Fuzzy Inference System*, FIS, Mamdani, Nilam, Sistem Pakar, Kesesuaian Lahan

Abstract

The land is a mixture of physical and natural environment that includes its climate, ground, relief, and hydrology. The mixture of soil has consequences of its land use. On the other hand, the success of agriculture and agro-industry is influenced by the success of its agriculture cultivation. This research intends to build an expert system that can be used to determine evaluation of crop land, in particular, for Patchouli plant. The Expert System of Patchouli Land Suitability is aimed to provide information on land characteristics that are suitable for Patchouli. We make use of the expertise of Patchouli Expert to provide knowledge to the expert system developed. The processing input for the expert system comes in two formats, i.e., fuzzy inputs and non-fuzzy inputs. Fuzzy Inference System (FIS) with Mamdani method was first used as the inference method for the fuzzy output followed by an application of non-fuzzy inputs. The expert system provides three categories of evaluation, i.e., very suitable, suitable, and unsuitable land cultivation for Patchouli. Each category has specific land characteristics tied with land evaluation results. Furthermore, the expert system was assessed on sixteen different lands to verify system accuracy. Assessment results present 75% accuracy when verified using human expert assessment.

Keywords: *Expert System, Fuzzy Inference System, Land Suitability, Mamdani, Patchouli.*

PENDAHULUAN

Dewasa ini budi daya tanaman Nilam sangat diminati karena minyak Nilam merupakan salah satu komoditas minyak atsiri andalan Indonesia. Setiap tahun Indonesia memasok 70% - 90% kebutuhan dunia. Sebagai komoditas ekspor, minyak Nilam mempunyai prospek yang baik karena dibutuhkan secara kontinyu untuk industri parfum, kosmetik, sabun dan lain-lain (Yang 2007). Tanaman Nilam dapat tumbuh pada ketinggian lahan antara 0 – 1.500 meter di atas permukaan laut, dengan curah hujan 2.500 – 3.000 mm/tahun (penyebaran merata sepanjang tahun). Suhu udara antara 24° – 28°C dengan kelembapan nisbi yang tinggi di atas 75%. Tanaman Nilam termasuk tanaman yang memerlukan hara yang cukup tinggi. Hasil analisis kadar hara dari batang dan daun yang dipanen menunjukkan bahwa kandungan N, P₂O₅, K₂O, CaO, dan MgO mencapai masing-masing 5,8%; 4,9%; 22,8%; 5,3% dan 3,4% dari bahan kering

¹Departemen Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680

*Penulis korespondensi: Surel: meuthiara@apps.ipb.ac.id

atau sama dengan pemberian pupuk 232 kg N, 196 kg P_2O_5 , 912 kg K_2O , 212 kg CaO dan 135 kg MgO. Hal ini menunjukkan bahwa untuk mempertahankan produksi agar tetap optimal pemberian pupuk sangat menentukan, terlebih jika ditanam secara menetap.

Pembudidayaan Nilam sebenarnya tidaklah sulit. Tanaman Nilam bisa dikembangkan di lahan apa saja, seperti pekarangan, sawah, kebun, dan tegalan. Untuk mendapatkan produktivitas yang tinggi, tanaman Nilam memerlukan lapisan tanah yang dalam, subur, kaya humus, berstruktur gembur, dan drainase yang baik. Tanaman Nilam yang diusahakan di dataran rendah mempunyai kandungan minyak lebih tinggi dari pada di dataran tinggi. Tanah dengan kandungan bahan organik yang tinggi dapat memberikan hasil yang lebih baik, sedangkan yang tergenang air, atau air tanah yang dangkal, dan kelembaban tinggi, akan mendorong timbulnya penyakit baik cendawan *phytophthora* maupun bakteri penyerang tanaman Nilam. Itu semua merupakan ciri-ciri lahan yang sesuai untuk menanam Nilam secara garis besar, guna menghasilkan minyak dengan kualitas dan kuantitas yang baik.

Sebelumnya, penelitian terkait sistem pakar *fuzzy* telah banyak dilakukan, diantaranya sistem *fuzzy* untuk penyakit *finger millets* (Roseline *et al.*, (2012), penerapan *fuzzy logic* pada berbagai domain ilmu pertanian (Roseline *et al.*, (2015), berbagai sistem pakar untuk pertanian (Prasad & Babu, 2006), sistem pakar *fuzzy* untuk diagnosis penyakit pada tanaman Cabai Merah (Mulyawanto, 2011), sistem pakar perlakuan tanaman dengan hormon pertumbuhan, faktor exogen dan endogen menggunakan pendekatan *fuzzy* (Cariens, 2013), serta sistem pakar prediksi produktivitas Padi Pandan Wangi menggunakan logika *fuzzy* (Al Khanif, 2014). Pada dasarnya penelitian terkait sistem pakar *fuzzy* telah diterapkan di berbagai bidang kehidupan, mulai dari pertanian, kesehatan, pendidikan, bisnis, pertahanan keamanan, manajemen, perekonomian, dan lain-lain.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pakar yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian lahan tanaman pertanian khususnya untuk tanaman Nilam yang dinamakan Sistem Pakar Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Nilam (SPKLTN). Evaluasi kesesuaian lahan dimaksud didasarkan pada karakteristik dan kualitas lahan. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui kebutuhan optimal tanaman Nilam terhadap kondisi lahan. Dengan mengetahui kesesuaian lahan dan kebutuhan optimal tanaman Nilam maka akan dihasilkan produksi minyak atsiri yang maksimal. Ini merupakan langkah awal untuk pengembangan tanaman Nilam secara profesional.

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah meneliti sifat-sifat dan syarat tumbuh dari tanaman Nilam yang saling terkait satu sama lain, membandingkan semua parameter karakteristik dan kualitas lahan, serta mengklasifikasikan kesesuaian kelas lahan. Kesesuaian lahan yang dihasilkan mengacu pada data yang ada, yaitu belum mempertimbangkan usaha perbaikan untuk mengatasi kendala atau faktor-faktor pembatas yang ada. Dalam memperoleh *input*, sistem pakar ini mengasumsikan bahwa semua parameter yang dibutuhkan sudah lengkap. Semua parameter dimasukkan sebagai *input* data diolah sehingga menghasilkan keputusan yang sesuai, yaitu lahan yang tepat untuk tumbuh kembangnya tanaman Nilam.

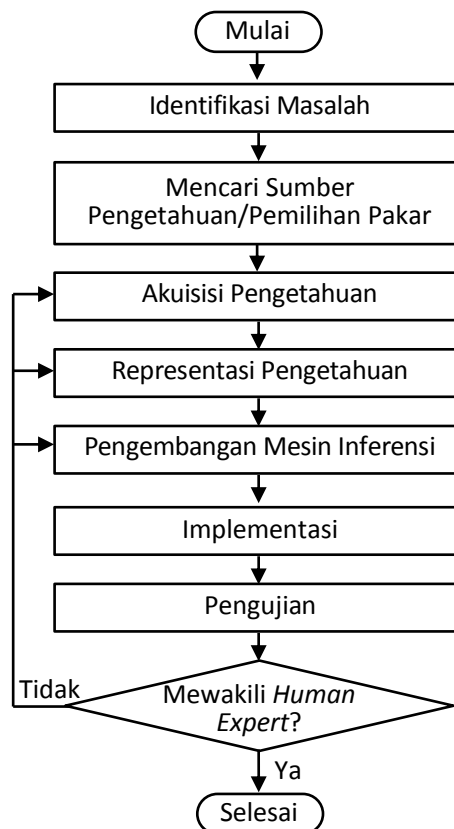
METODE

Metode Penyusunan Sistem Pakar

Tahap pembentukan Sistem Pakar Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Nilam (SPKLTN) secara lengkap ditunjukkan pada **Gambar 1**. Tahap SPKLTN mengalami iterasi atau pengulangan ketika hasil yang diperoleh tidak mewakili pakar.

1. **Identifikasi Masalah:** Pada sistem ini masalah yang akan dikaji adalah bagaimana menentukan kesesuaian lahan untuk Nilam terhadap berbagai karakteristik dan kualitas lahan. Proses yang dilalui, antara lain: analisa kebutuhan, perumusan masalah, dan identifikasi sistem.

2. **Pemilihan Pakar:** Kesesuaian lahan untuk Nilam telah dikembangkan di Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik (Balitro). Oleh karenanya dipilih pakar yang berasal dari balai tersebut.
3. **Akuisisi Pengetahuan:** Akuisisi pengetahuan dilakukan dengan wawancara langsung dengan pakar tentang semua parameter yang saling terkait. Parameter dimaksud adalah karakteristik dan kualitas suatu lahan yang akan dijadikan lokasi penanaman Nilam. Dari hasil akuisisi diperoleh fakta, informasi dan strategi penalaran untuk memecahkan persoalan.
4. **Representasi Pengetahuan:** Pada tahap ini semua parameter kesesuaian lahan yang didapat dari proses akuisisi pengetahuan dimasukkan sebagai *input* sistem kemudian dilihat keterkaitan antara setiap parameter dan mengklasifikasikan lahan sesuai kelasnya.
5. **Pengembangan Mesin Inferensi:** Teknik *Forward Chaining* digunakan untuk memperoleh berbagai fakta tentang kesesuaian lahan untuk tanaman Nilam untuk kemudian menuju kesimpulan tentang keadaan tanah tersebut. Proses inferensi pada SPKLTN menggunakan *Fuzzy Inference System (FIS)* dengan metode Mamdani.
6. **Implementasi:** Pada tahap implementasi dilakukan penerjemahan hasil perumusan ke dalam aplikasi komputer. Semua parameter lahan yang ada merupakan *input* sistem dan klasifikasi lahan sesuai parameternya merupakan *output* sistem.
7. **Pengujian:** Pengujian dilakukan agar sistem pakar yang diperoleh dapat mewakili *human expert*. Dalam hal ini pengujian tidak selalu harus mencakup seluruh permasalahan yang ditangani. Pada sistem ini pengujian dengan memasukkan parameter lahan sentra produksi tanaman Nilam untuk melihat apakah lahan tersebut memang sangat sesuai untuk Nilam.



Gambar 1 Tahap pembentukan sistem pakar (Marimin 2009)

Metode Penilaian Kesesuaian Lahan

Penilaian klasifikasi kesesuaian lahan dilakukan dengan menggunakan perbandingan antara karakteristik dan kualitas suatu lahan. Kualitas lahan memunculkan sifat-sifat yang kompleks dari suatu lahan yang berpengaruh terhadap kesesuaiannya pada penggunaan tertentu. Karakteristik lahan memunculkan sifat-sifat lahan yang dapat diestimasi atau diukur.

Perbandingan keduanya akan menghasilkan suatu keputusan kesesuaian lahan (Dolisera 1997). Hasil penilaian kesesuaian lahan dibedakan sebagai berikut:

1. **Lahan sangat sesuai:** lahan tidak mempunyai faktor pembatas berarti yang dapat mempengaruhi pengolahan tanah atau tanaman, sehingga dapat diusahakan secara berkelanjutan.
2. **Lahan sesuai:** lahan mempunyai pembatas ringan yang dapat mempengaruhi pengolahan tanah atau tanaman, pembatas tersebut dapat mengurangi produktivitas atau keuntungan dan dapat diatasi dengan masukan biaya yang tidak terlalu besar.
3. **Lahan tidak sesuai:** lahan mempunyai faktor pembatas yang sangat berat dan bersifat permanen, hampir tidak mungkin dijadikan objek penanaman, memerlukan dana sangat besar sehingga secara ekonomi tidak menguntungkan.

Pengujian sistem dilakukan dengan memasukkan karakteristik lahan sentra produksi Nilam, lahan pertanian biasa, dan lahan lain pada lokasi yang berbeda. Hal tersebut dilakukan untuk melihat akurasi sistem pada jenis lahan berbeda dengan parameter yang berbeda. Data pengujian didapat sebagian besar dari Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik (Balitro), jurnal terkait, dan dari referensi pakar. Secara spesifik, pengujian sistem dilakukan di 16 lokasi kota/kabupaten di provinsi di Aceh, Jawa Timur, Jawa Barat, Banten, Lampung Selatan, dan Sumatera Utara

HASIL DAN PEMBAHASAN

Masalah pada Budi Daya Nilam

Budi daya tanaman Nilam akan menghasilkan produksi yang baik apabila ditanam dengan pemupukan yang tepat atau pada lahan yang tepat. Oleh karenanya, masalah pada budi daya tanaman Nilam adalah penentuan kesesuaian lahan berdasarkan karakteristik dan kualitas lahan dan penetapan klasifikasi lahan sesuai kelas yang telah ditentukan, yaitu lahan sangat sesuai, lahan sesuai, dan lahan tidak sesuai. Untuk itu dibutuhkan sistem pakar kesesuaian lahan untuk tanaman Nilam (SPKLTN) yang berguna dalam membudidayakan tanaman Nilam khususnya pada kawasan baru.

1. Akuisisi Pengetahuan

Akuisisi pengetahuan yang digunakan untuk menentukan kesesuaian lahan berdasarkan parameter ketinggian dan jenis lahan mengacu pada hasil penelitian Rosman dan Hermanto (1998) dan Yang (2007) seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kriteria kesesuaian lahan tanaman Nilam (Rosman & Hermanto 1998, Yang 2007)

Parameter	Tingkat Kesesuaian		
	Sangat Sesuai	Sesuai	Tidak Sesuai
Ketinggian (m, dpl)	100 – 400	0 – 700	> 700
Jenis tanah	Andosol & latosol	Regosol & podsolik	Lainnya
Drainase	Baik	Baik	Terhambat
Tekstur	Lempung	Liat berpasir	Pasir
Kedalaman air	> 100	75 – 100	≤ 50
pH	5.6 – 7	4 – 5.5	≤ 4.5
C-organik (%)	2 – 3	≥ 2	≤ 1
P ₂ O ₅ (ppm)	16 – 25	10 – 17	> 24
K ₂ O (me/100 g)	≥ 1.0	0.6 – 2	0.2 – 0.4
KTK (me/100 g)	≥ 17	5 – 16	< 5

2. Representasi Pengetahuan

Pada tahap ini semua pengetahuan berupa parameter kesesuaian lahan yang didapat dari proses akuisisi pengetahuan diterapkan untuk tanaman Nilam. Parameter dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu fuzzy dan non-fuzzy (Tabel 2). Parameter jenis tanah, tekstur, kedalaman air, dan kapasitas tukar kation (KTK) ditetapkan sebagai non-fuzzy karena nilai

kisarannya berada pada himpunan tegas (crisp), tidak ada overlap. Misalnya tekstur lempung sudah pasti termasuk kelas sangat sesuai atau nilai kapasitas tukar kation (KTK) ≥ 17 sudah pasti termasuk kelas sangat sesuai.

Tabel 2 Parameter input dengan kisarannya

Parameter	Kisaran	Keterangan
Ketinggian (m, dpl.)	1 - 1000	<i>fuzzy</i>
Jenis tanah	-	<i>non-fuzzy</i>
Drainase	0.5 - 5	<i>fuzzy</i>
Tekstur	-	<i>non-fuzzy</i>
Kedalaman air	1 - 400	<i>non-fuzzy</i>
pH	1 - 7	<i>fuzzy</i>
C-organik (%)	0 - 5	<i>fuzzy</i>
P ₂ O ₅ (ppm)	10 - 30	<i>fuzzy</i>
K ₂ O (me/100 g)	0 - 5	<i>fuzzy</i>
KTK (me/100 g)	0 - 40	<i>non-fuzzy</i>

3. Pengembangan Mesin Inferensi

Pada penelitian ini, pengembangan mesin inferensi menggunakan teknik *Forward Chaining*. Proses inferensi *input* parameter yang bersifat *fuzzy* menggunakan *fuzzy inference system* (FIS), sedangkan *input* parameter yang bersifat *non-fuzzy* menggunakan kaidah *if-then-rule*. Semua parameter *input* yang bersifat *fuzzy* akan diproses dengan logika *fuzzy* menggunakan metode Mamdani. Implementasi metode *fuzzy* akan mengalami beberapa tahap dalam merepresentasikan semua parameter, dimana dengan kombinasi *rule* yang ada maka akan diperoleh suatu solusi tentang kesesuaian lahan untuk tanaman Nilam.

Output dari sistem yang merupakan klasifikasi lahan direpresentasikan dengan kurva trapesium, karena ada saat dimana lahan akan berada pada kondisi tingkat kesesuaian yang sangat sesuai dan tidak mengalami perubahan. Dengan kata lain, ketika suatu lahan telah ditempatkan pada tingkat sangat sesuai, kemudian lahan tersebut terus menjadi semakin baik, maka tetap akan ditempatkan pada tingkatan tersebut. Representasi kurva trapesium juga akan memiliki dua garis yang mengalami kenaikan dan penurunan derajat keanggotaan, hal ini untuk merepresentasikan lahan pada domain dengan variabel yang berubah.

Pada proses ini ketika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam kisaran tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output*. Metode ini memperoleh solusi *crisp* dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah *fuzzy*. Secara umum *defuzzifikasi* metode *Centroid* ditampilkan pada rumus (1).

$$z = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad (1)$$

dengan z_j adalah nilai pada tiap titik horizontal, μ adalah fungsi keanggotaan pada tiap titik z_j dan n adalah banyaknya j .

Penentuan lahan yang sesuai untuk tanaman Nilam akan terlebih dahulu memproses *input fuzzy* sampai diperoleh suatu bilangan *crisp*. Bilangan *crisp* tersebut selanjutnya dijadikan *input* untuk memproses parameter *non-fuzzy* dengan kaidah *if then rule*. Semua parameter karakteristik lahan akan melalui proses *fuzzifikasi* dan *defuzzifikasi*.

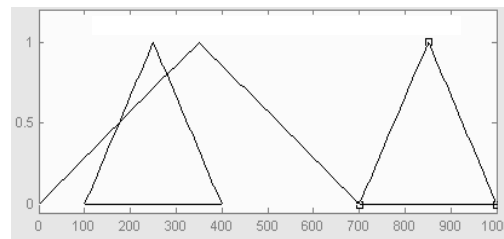
a. Proses Fuzzifikasi

Pada proses ini sistem akan menduga suatu fungsi dengan logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* digunakan untuk menangani konsep derajat keanggotaan dengan domainnya. Setiap parameter mempunyai batasan tertentu yang akan mengklasifikasikan parameter pada kelas lahan yang sesuai. Ada tiga batasan yang digunakan yaitu: sangat baik, baik, dan tidak baik yang semua batasan pada tiap domain *input* didapatkan dari hasil akuisisi pakar. Proses *fuzzifikasi* pada semua parameter yang bersifat *fuzzy* ditunjukkan sebagai berikut:

i. Ketinggian (m, dpl)

Parameter ketinggian adalah parameter penting untuk tumbuh kembangnya Nilam. Tanaman ini dapat tumbuh dan menghasilkan minyak bermutu baik pada ketinggian 0 -

700 m dpl. Lahan sangat sesuai mempunyai ketinggian 100 – 400 m dpl, lahan sesuai 0 – 700 m dpl, dan lahan tidak sesuai ≥ 700 m dpl. Derajat keanggotaan yang didapat dari proses fuzzifikasi ditunjukkan pada Gambar 2.



$$\mu(X)_{SB} = \begin{cases} 0; & x \geq 400 \text{ atau } x \leq 100 \\ (x - 100) / (250 - 100); & 100 \leq x \leq 250 \\ (400 - x) / (400 - 250); & 250 \leq x \leq 400 \end{cases}$$

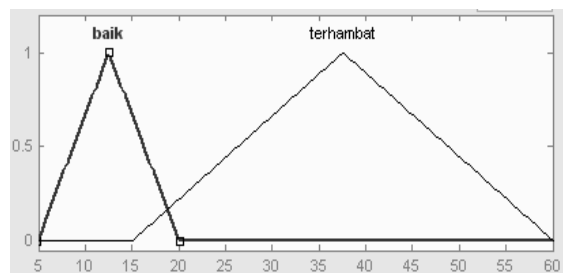
$$\mu(X)_B = \begin{cases} 0; & x \geq 700 \text{ atau } x \leq 0 \\ (x - 0) / (350 - 0); & 0 \leq x \leq 350 \\ (700 - x) / (700 - 350); & 350 \leq x \leq 700 \end{cases}$$

$$\mu(X)_{TB} = \begin{cases} 0; & x \geq 1000 \text{ atau } x \leq 701 \\ (x - 701) / (850.5 - 701); & 701 \leq x \leq 850.5 \\ (1000 - x) / (1000 - 850.5); & 850.5 \leq x \leq 1000 \end{cases}$$

Gambar 2 Representasi kurva segitiga dan fungsi keanggotaan untuk ketinggian

ii. Drainase

Drainase adalah lorong-lorong dalam tanah tempat mengalirnya air. Menurut pakar, drainase yang baik pada lokasi penanaman tanaman pertanian yang luas membutuhkan aliran air yang tidak terhambat. Pada lahan yang sangat sesuai dan sesuai drainase membutuhkan 5 – 20 menit untuk mengairi seluruh ladang Nilam, namun untuk lahan yang tidak sesuai drainase akan mengairi seluruh ladang Nilam antara 15 – 60 menit. Setelah melalui tahap fuzzifikasi fungsi keanggotaan drainase dapat terlihat pada Gambar 3.



$$\mu(X)_B = \begin{cases} 0; & x \geq 20 \text{ atau } x \leq 5 \\ (x - 5) / (12.5 - 5); & 5 \leq x \leq 12.5 \\ (20 - x) / (20 - 12.5); & 12.5 \leq x \leq 20 \end{cases}$$

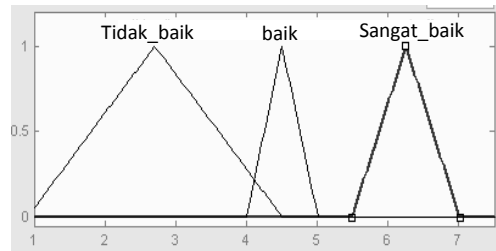
$$\mu(X)_T = \begin{cases} 0; & x \geq 60 \text{ atau } x \leq 15 \\ (x - 15) / (37.5 - 15); & 15 \leq x \leq 37.5 \\ (60 - x) / (60 - 37.5); & 37.5 \leq x \leq 60 \end{cases}$$

Gambar 3 Representasi kurva segitiga dan fungsi keanggotaan untuk drainase

iii. pH

Nilai pH menunjukkan banyaknya konsentrasi ion hidrogen (H^+) di dalam tanah. Nilai pH berkisar dari 0-14 dengan pH 7 disebut netral sedangkan pH kurang dari 5.5 disebut masam dan pH lebih dari 7 disebut alkalis. Nilam merupakan tanaman yang dapat berkembang dengan baik pada pH basa, untuk lahan sangat sesuai pH berkisar antara 5.5 – 7, untuk lahan sesuai pH sedikit bersifat masam antara 4 – 5, sedangkan untuk

lahan yang tidak sesuai pH kurang dari 4.5, dapat dikatakan lahan tersebut bersifat masam. Fungsi keanggotaan pH dapat terlihat pada Gambar 4.



$$\mu(X)_{SB} = \begin{cases} 0; & x \geq 7 \text{ atau } x \leq 5.6 \\ (x - 5.6) / (6.3 - 5.6); & 5.6 \leq x \leq 6.3 \\ (7 - x) / (7 - 6.3); & 6.3 \leq x \leq 7 \end{cases}$$

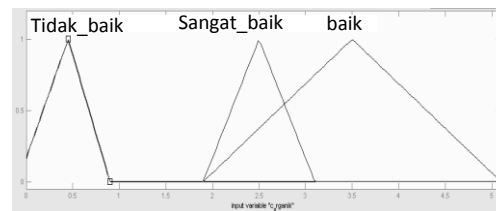
$$\mu(X)_B = \begin{cases} 0; & x \geq 5.5 \text{ atau } x \leq 4 \\ (x - 4) / (4.75 - 4); & 4 \leq x \leq 4.75 \\ (5.5 - x) / (5.5 - 4.75); & 4.75 \leq x \leq 5.5 \end{cases}$$

$$\mu(X)_{TB} = \begin{cases} 0; & x \geq 4.5 \text{ atau } x \leq 1 \\ (x - 1) / (2.75 - 1); & 1 \leq x \leq 2.75 \\ (4.5 - x) / (4.5 - 2.75); & 2.75 \leq x \leq 4.5 \end{cases}$$

Gambar 4 Representasi kurva segitiga dan fungsi keanggotaan untuk pH

iv. C-organik

Kandungan bahan organik dalam tanah merupakan salah satu faktor yang berperan dalam menentukan keberhasilan suatu budi daya pertanian. Hal ini karena bahan organik dapat meningkatkan kesuburan kimia, fisika, maupun biologi tanah. Penetapan kandungan bahan organik dilakukan berdasarkan jumlah C-organik. Untuk tanaman Nilam pada lahan sangat sesuai kandungan C-organik berkisar antara 2 - 3%, untuk lahan sesuai $\geq 2\%$, sedangkan lahan tidak sesuai C-organik $\leq 1\%$. Adapun fungsi keanggotaannya dapat dilihat pada Gambar 5.



$$\mu(X)_{SB} = \begin{cases} 0; & x \geq 3 \text{ atau } x \leq 2 \\ (x - 2) / (2.5 - 2); & 2 \leq x \leq 2.5 \\ (3 - x) / (3 - 2.5); & 2.5 \leq x \leq 3 \end{cases}$$

$$\mu(X)_B = \begin{cases} 0; & x \geq 5 \text{ atau } x \leq 2 \\ (x - 2) / (3.5 - 2); & 2 \leq x \leq 3.5 \\ (5 - x) / (5 - 3.5); & 3.5 \leq x \leq 5 \end{cases}$$

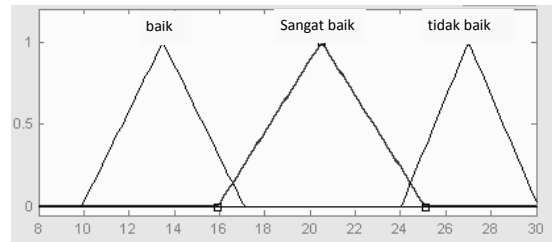
$$\mu(X)_{TB} = \begin{cases} 0; & x \geq 1 \text{ atau } x \leq 0 \\ (x - 0) / (0.5 - 0); & 0 \leq x \leq 0.5 \\ (1 - x) / (1 - 0.5); & 0.5 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

Gambar 5 Representasi kurva segitiga dan fungsi keanggotaan untuk C-organik

v. P_2O_5

P_2O_5 merupakan salah satu kandungan kimia tanah yang berhubungan dengan kandungan kimia lain sebagai salah satu zat penyubur tanah. Pada lahan sangat sesuai kandungan P_2O_5 berkisar antara 16 – 25 ppm, untuk lahan sesuai kandungan antara 10 – 17 ppm, sedangkan untuk lahan tidak sesuai kandungan lebih dari 24 ppm. Dari kisaran pada setiap jenis lahan terlihat bahwa parameter ini bersifat *fuzzy*. Fungsi

keanggotaan dengan representasi kurva segitiga setelah proses fuzzifikasi dapat dilihat pada Gambar 6.

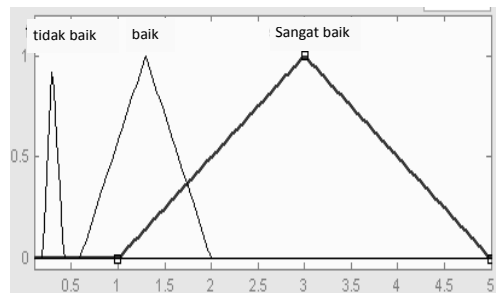


$$\begin{aligned}\mu(X)_{SB} &= \begin{cases} 0; & x \geq 25 \text{ atau } x \leq 16 \\ (x - 16) / (20.5 - 16); & 16 \leq x \leq 20.5 \\ (25 - x) / (25 - 20.5); & 20.5 \leq x \leq 25 \end{cases} \\ \mu(X)_B &= \begin{cases} 0; & x \geq 17 \text{ atau } x \leq 10 \\ (x - 10) / (13.5 - 10); & 10 \leq x \leq 13.5 \\ (17 - x) / (17 - 13.5); & 13.5 \leq x \leq 17 \end{cases} \\ \mu(X)_{TB} &= \begin{cases} 0; & x \geq 30 \text{ atau } x \leq 24.1 \\ (x - 24.1) / (27.05 - 24.1); & 24.1 \leq x \leq 27.05 \\ (30 - x) / (30 - 27.5); & 27.05 \leq x \leq 30 \end{cases}\end{aligned}$$

Gambar 6 Representasi kurva segitiga untuk P_2O_5

vi. K_2O

K_2O adalah salah satu bahan organik pada tanah sebagai zat penyubur kondisi tanah. Semakin besar zat K_2O maka tanah semakin baik dan subur. Untuk lahan sangat sesuai K_2O lebih dari 1 me/100g, untuk lahan sesuai K_2O antara 0.6 – 2 me/100g, sedangkan untuk lahan tidak sesuai berkisar antara 0.2 – 0.4 me/100g. Adapun fungsi keanggotaan dapat dilihat pada Gambar 7.



$$\begin{aligned}\mu(x)_{SB} &= \begin{cases} 0; & x \geq 5 \text{ atau } x \leq 1 \\ (x - 1) / (3 - 1); & 1 \leq x \leq 3 \\ (5 - x) / (5 - 3); & 3 \leq x \leq 5 \end{cases} \\ \mu(x)_B &= \begin{cases} 0; & x \geq 2 \text{ atau } x \leq 0.6 \\ (x - 0.6) / (1.3 - 0.6); & 0.6 \leq x \leq 1.3 \\ (2 - x) / (2 - 1.3); & 1.3 \leq x \leq 2 \end{cases} \\ \mu(x)_{TB} &= \begin{cases} 0; & x \geq 0.4 \text{ atau } x \leq 0.2 \\ (x - 0.2) / (0.3 - 0.2); & 0.2 \leq x \leq 0.3 \\ (0.4 - x) / (0.4 - 0.3); & 0.3 \leq x \leq 0.4 \end{cases}\end{aligned}$$

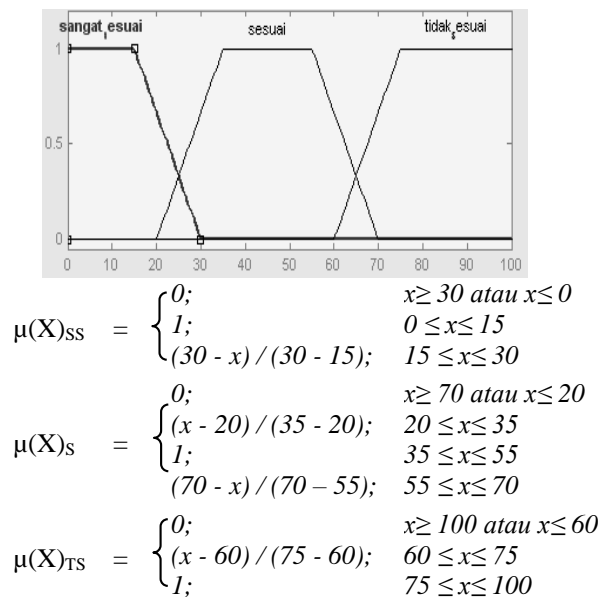
Gambar 7 Representasi kurva segitiga dan fungsi keanggotaan untuk K_2O

b. Proses Defuzzifikasi

Dari semua parameter kesesuaian lahan di atas dibuat suatu aturan (*rule*) yang memperlihatkan keterkaitan antara satu parameter dengan parameter lainnya untuk memperoleh suatu *output* sebagai solusi akhir program SPKLTN. Sebagai contoh aturan *fuzzy* sebagai berikut:

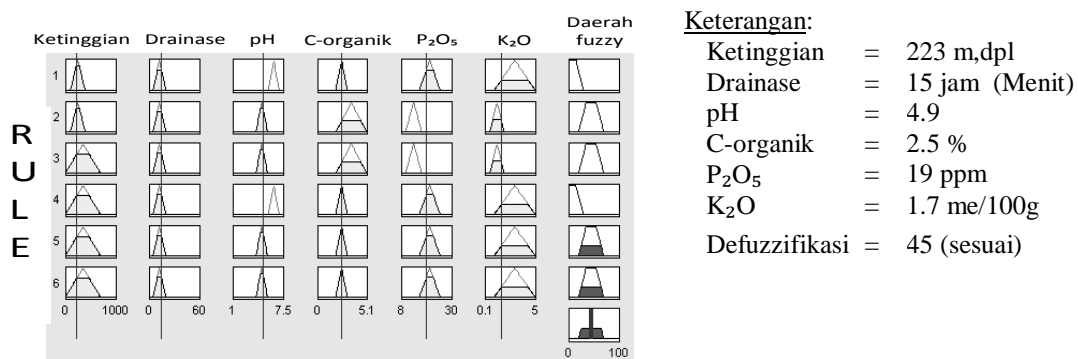
If ketinggian is sangat_baik and drainase is baik and pH is sangat_baik and C_organik is sangat_baik and P_2O_5 is sangat_baik and K_2O is sangat_baik then lahan sangat_sesuai.

Aturan di atas memperlihatkan semua parameter *fuzzy* bersifat sangat baik yang menghasilkan *output* lahan sangat sesuai. Akan ada banyak kombinasi aturan (*rule*) lain untuk mendukung *output* lebih akurat. *Output* yang dihasilkan akan dicari nilai *crisp* menggunakan metode *centroid* dengan cara mengambil nilai tengah dari daerah *fuzzy* yang terbentuk. Nilai *crisp* tersebut akan diproses kembali dengan parameter *non-fuzzy*. Adapun fungsi keanggotaan dari *output* yang merepresentasikan klasifikasi lahan pada SPKLTN dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Representasi kurva trapesium dan fungsi keanggotaan untuk *output* lahan

Proses *defuzzifikasi* dari setiap masukan seperti contoh aturan tadi akan menghasilkan nilai tunggal. Setiap masukan dieksekusi oleh *rule fuzzy* dengan operator *and* sehingga akan diambil nilai fungsi keanggotaan yang terkecil untuk memperoleh *output*. *Output* yang didapat dari setiap parameter digabungkan menjadi daerah *fuzzy* yang kemudian dicari nilai tengahnya dengan metode *centroid*. *Output* dari ilustrasi dengan 6 *rule* yang disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9 Representasi *rule* untuk *output*

Pada ilustrasi **Gambar 9**, nilai *crisp* yang dihasilkan dari komposisi *rule* kelima dan keenam bernilai 45, yang berarti angka tersebut merepresentasikan bahwa lahan ini sesuai. Setelah diperoleh hasil defuzzifikasi berupa nilai *crisp*, maka proses berikutnya adalah proses inferensi *output fuzzy* dengan parameter *non-fuzzy* menggunakan kaidah *if then rule*. Parameter yang bersifat *non-fuzzy* dipisahkan karena tidak adanya *overlap* antar tiap batasan pada setiap parameter tersebut. Adapun parameter *non-fuzzy* adalah sebagai jenis tanah, tekstur, kedalaman air, serta kapasitas tukar kation (KTK).

Proses penggabungan *output fuzzy* dengan parameter *input non-fuzzy* ditunjukkan dengan contoh *rule* sebagai berikut:

if output is sesuai and jenis_tanah is regosol/podsolik and tekstur_tanah is baik and kedalaman_air is baik & KTK is baik then lahan sesuai

Setelah proses penggabungan *output fuzzy* dengan parameter *non-fuzzy* maka didapatkan sebuah hasil akhir kesesuaian lahan yang pada kasus ini *output fuzzy* bersifat sesuai dan *input non-fuzzy* juga bersifat sesuai sehingga menghasilkan lahan sesuai untuk tumbuh kembangnya tanaman Nilam.

4. Implementasi

Pada tahap implementasi dilakukan penerjemahan hasil perumusan dengan menggunakan *desktop* komputer. Semua parameter lahan yang ada merupakan *input* sistem dan klasifikasi lahan merupakan *output* sistem. *Input* akan disajikan dalam antarmuka *Graphical User Interface (GUI)* sehingga pengguna dapat mengisi *input* parameter. Sistem Operasi yang digunakan adalah Windows XP Profesional dan Matlab 7.0 sebagai *software* pembentuk sistem.

5. Verifikasi Sistem

Verifikasi sistem dilakukan dengan membuat kombinasi *input* beberapa parameter karakteristik lahan. Dari sepuluh parameter *input* dengan tiga *output* yang ada akan menghasilkan kombinasi yang sangat beragam. Kombinasi *rule* yang dihasilkan pada tahap awal representasi pengetahuan berjumlah 250 *rule*, dan jumlah tersebut belum mencakup keseluruhan kombinasi *rule*.

Dengan kombinasi yang sangat banyak akan mempersulit dalam mencakup keseluruhan kombinasi *rule*, akibatnya *output* yang dihasilkan pada proses ini tidak sesuai yang diharapkan. Hal ini kemungkinan karena adanya bentrok antar tiap *rule* pada sistem atau karena *rule* yang terlalu banyak. Untuk mengatasi hal tersebut maka dibuat *rule* kesesuaian. Pada proses ini pakar memberikan rekomendasi beberapa *rule kesesuaian* yang harus dijadikan acuan pada proses pembuatan *rule* secara keseluruhan. Rekomendasi ini berguna untuk menghemat pembuatan *rule* yang terlalu banyak. Selanjutnya, verifikasi dilakukan oleh pakar kesesuaian lahan tanaman Nilam Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik (Balitro). *Rule* dimaksud dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Rule kesesuaian

Parameter	Rule kesesuaian	
Ketinggian (m, dpl.)	-	-
Jenis tanah	Andosol & Latosol	Regosol & Podsolik
Drainase (jam)	-	-
Tekstur	Lempung	Liat berpasir
Kedalaman air (cm)	-	-
pH	5.6 – 7 (basa)	4 - 5.5 (asam)
C-organik (%)	>1	>1
P ₂ O ₅ (ppm)	-	-
K ₂ O (me/100 g)	-	-
KTK (me/100 g)	≥17	5 – 16

Rule kesesuaian pada Tabel 3 akan menjadi acuan dalam memilih kombinasi *rule*. Contohnya pada kasus tanah andosol, tanah ini pasti akan mempunyai tekstur lempung dengan sifat tanah adalah basa, kandungan C-organik lebih dari 1%, dan kandungan KTK lebih atau sama dengan 17 me/100g. *Rule* kesesuaian di atas akan lebih mempersempit kombinasi antara parameter *input* sehingga akhirnya dihasilkan *rule* sebanyak 118 buah *rule*.

Rule kesesuaian juga menghasilkan satu *output* lain pada sistem, yaitu lahan tidak terdefinisi. Lahan tidak terdefinisi sendiri merupakan lahan dengan parameter *input* yang tidak mungkin terjadi. *Rule* kesesuaian merupakan kombinasi yang mungkin terjadi pada kenyataan sebenarnya, ketika parameter *input* tidak sesuai dengan *rule* kesesuaian, maka suatu lahan akan dimasukkan pada lahan tidak terdefinisi.

Pada tahap ini pakar juga menyarankan untuk menyamakan kandungan organik, dengan kata lain pada kasus lahan sangat sesuai dengan tanah andosol dan pH basa, maka kandungan bahan organik lainnya juga akan berada pada posisi sangat baik atau baik, begitu pula dengan kasus lahan sesuai, dengan jenis tanah regosol dan pH sedikit asam, maka kandungan organik juga berada pada posisi baik atau sangat baik. Hal ini lebih memperjelas bahwa kombinasi parameter *input* untuk bahan organik, seperti C-organik, P_2O_5 , K_2O , dan KTK akan mengikuti kandungan pH pada tanah tertentu.

6. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan memasukkan karakteristik lahan sentra produksi Nilam, lahan pertanian biasa, dan lahan lain pada lokasi yang berbeda. Hal tersebut dilakukan untuk melihat akurasi sistem pada jenis lahan berbeda dengan parameter yang berbeda. Data pengujian didapat sebagian besar dari Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik (Balitro), jurnal terkait, dan dari referensi pakar. Adapun data pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Data lokasi pengujian sistem, Balai Penelitian Tanah Bogor

No	Lokasi	No	Lokasi
1	Aceh (3km dari pantai)	9	Cikanjang
2	Aceh (tertutup lumpur tsunami)	10	Cikole
3	Aceh (0.2km dari pantai dengan lumpur tsunami)	11	Dolok Masehul
4	Banyuwangi	12	Lampung
5	Bogor 1	13	Sariwangi
6	Bogor 1(setelah pemupukan)	14	Sei Putih
7	Bogor 2	15	Suka Mulih
8	Bogor 2(setelah pemupukan)	16	Tanjung Gusti

Data pengujian sistem pada Tabel 4 mempunyai parameter kesesuaian lahan yang berbeda-beda sesuai lokasi dan iklim dari lahan tersebut. Sebagai contoh, pada data pertama yang diambil dari Kabupaten Aceh Besar, daerah ini merupakan salah satu sentral produksi Nilam dengan berbagai varietas Nilam. Contoh lainnya, data uji yang diambil dari daerah Lampung, lahan ini direkomendasikan pemupukan untuk perbaikan bahan-bahan organik. Pengambilan data uji dari berbagai daerah dan kondisi yang berbeda dimaksudkan untuk melihat keakuratan sistem dalam memroses *input* dan menghasilkan evaluasi yang tepat.

Semua data diproses dengan *Fuzzy Inference System* (FIS) dengan cara memasukkan semua parameter *input* pada setiap lokasi, kemudian dilihat evaluasi yang dihasilkan sistem, dan selanjutnya disesuaikan dengan kesimpulan pakar. Hasil dari proses inferensi dengan *fuzzy* untuk setiap data dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil pengujian sistem

No	Lokasi	Defuzzifikasi <i>input fuzzy</i>	Ket	No	Lokasi	Defuzzifikasi <i>input fuzzy</i>	Ket
1	Aceh (3km)	14.5	SS	9	Cikanjang	14.2	SS
2	Aceh (tsunami)	50	TS	10	Cikole	14.5	SS
3	Aceh (0.2km dan tsunami)	50	TS	11	Dolok Masehul	45	S
4	Banyuwangi	45	S	12	Lampung	50	TS
5	Bogor 1	45	S	13	Sariwangi	45	S
6	Bogor 1 (pupuk)	45	TT	14	Sei Putih	45	S
7	Bogor 2	14.1	SS	15	Suka Mulih	45	S
8	Bogor 2 (pupuk)	45	TT	16	Tanjung Gusti	45	S

Keterangan : SS = Sangat Sesuai S = Sesuai TS = Tidak Sesuai TT = Tidak Terdefinisi

Dari hasil uji sistem dengan 16 data uji di atas, diperoleh berbagai variasi *output* lengkap dengan nilai *crisp* pada masing-masing lahan. Setelah disesuaikan dengan solusi pakar ternyata ada empat buah data uji yang tidak sesuai dengan pakar, yaitu data uji 2, 3, 6, dan 8. Setelah analisis pada keempat lahan tersebut dilakukan, ternyata data uji 2 dan 3 merupakan lahan pada daerah Aceh Besar yang diuji setelah tertutup lumpur tsunami. Hal tersebut menjadikan

kandungan ion pada tanah meningkat, itu terlihat pada kandungan K_2O yang meningkat drastis, sehingga lahan tersebut sangat baik ditanami tanaman tahunan, seperti sawo dan kelapa sawit, tapi tidak baik untuk ditanami tanaman semusim seperti kacang polong maupun Nilam.

Untuk data uji ke 6 dan 8 merupakan lahan pada wilayah Bogor setelah adanya proses pemupukan, sistem menolak data uji ke 6 dikatakan sesuai untuk Nilam karena tingginya KTK setelah terjadi pemupukan. Dengan kata lain kisaran *input* untuk KTK melewati batas. Sedangkan pada lahan ke 8 terjadi perubahan pH pada lahan tersebut menjadi masam, sedangkan jenis lahan tersebut adalah Latosol yang secara umum mempunyai sifat basa. Hal itulah yang menyebabkan sistem tidak menempatkan lahan tersebut pada kelas lahan yang tidak terdefinisi. Setelah melakukan pengujian sistem dan penyesuaian evaluasi dengan pakar, dari 16 data uji yang dimasukkan, SPKLTN mampu menghasilkan 12 data uji yang sesuai dengan pakar dan 4 data uji yang tidak sesuai dengan pakar, sehingga keakuratan SPKLTN untuk 16 data yang telah diolah ialah sebesar 75%.

7. Keterbatasan Sistem

SPKLTN yang dikembangkan memiliki beberapa keterbatasan, antara lain parameter yang diperhatikan hanya karakteristik lahan, belum memperhatikan perubahan iklim pada waktu tertentu. Selain itu, lahan yang dikaji hanya lahan aktual, yaitu lahan yang belum dipertimbangkan usaha perbaikan yang dapat dilakukan untuk mengatasi kendala atau faktor-faktor pembatas yang ada. SPKLTN masih berbasis *deskstop* menggunakan Matlab versi 7.0, sehingga belum bisa digunakan oleh banyak pengguna.

SIMPULAN

SPKLTN adalah sistem yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian lahan tanaman pertanian khususnya pada tanaman Nilam. Karakteristik dan kualitas lahan adalah sebagai parameter yang dibandingkan dalam sistem pakar ini untuk menentukan jenis lahan yang cocok dan mendukung pada daerah tertentu. Sistem ini menggunakan metode *fuzzy* dalam menyelesaikan bidang masalah yang dikaji sampai pada solusi akhir. Data yang diujikan sebanyak 16 lahan dengan kondisi yang berbeda; dari 16 data tersebut ada 4 lahan yang mempunyai solusi tidak sama dengan pakar. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan salah satu ion pada lahan tersebut akibat tertimbun lumpur tsunami dan pemupukan. Secara umum SPKLTN yang dibangun memiliki keakuratan sebesar 75% dengan data uji sebanyak 16 data, dengan rincian 12 data sesuai dengan pakar dan 4 data tidak sesuai dengan pakar.

Berdasarkan kelemahan SPKLTN di atas, maka disarankan agar penelitian dikembangkan untuk juga mencakup parameter perubahan iklim (musim kemarau dan musim penghujan). Parameter karakteristik lahan aktual juga perlu diperbandingkan dengan lahan yang sudah melakukan usaha perbaikan untuk mengatasi kendala atau faktor-faktor pembatas yang ada. Untuk lahan perlu disertakan data hasil laboratorium dari bahan organik tanah agar pengklasifikasian lahan lebih akurat.. Selain itu, disarankan penambahan gambar lokasi dari solusi lahan yang dihasilkan serta SPKLTN dikembangkan dengan berbasis web. agar sistem lebih informatif dan bisa diakses oleh banyak pihak

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F dan Subiksa, IGM. Status Hara Tanah Terpengaruh Lumpur Tsunami dan Implikasi Pengelolaannya. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Dolisera, R. 1997. Sistem Pakar Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Pertanian [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Kusrini. 2005. Penggunaan *Certainty Factor* dalam Sistem Pakar untuk Melakukan Diagnosis dan Memberikan Terapi Penyakit Epilepsi dan Keluarganya [makalah penelitian]. Yogyakarta: STMIK AMIKOM. [terhubung berkala]
http://repository.petra.ac.id/77/1/II-02-naskah-SIIT_05_013.pdf [08-10-09].

- Kusumadewi, S. 2002. Analisis dan Disain Sistem *Fuzzy* menggunakan Toolbox Matlab. Jakarta: Graha Ilmu.
- Marimin. 2009. Teori dan Aplikasi Sistem Pakar dalam Teknologi Manajerial. Bogor: IPB Press.
- Prasad GNR, AV Babu. 2006. *A Study on Various Expert Systems in Agriculture*. Georgian Electronic Scientific Journal: Computer Science and telecommunications, No. 4(11), p. 297-305
- Roseline P, CJM Tauro, N. Ganesan. 2012. *Design and Development of Fuzzy Expert System for Integrated Disease Management of Finger Millets*. Intl. J. of Computer Applications. Vol. 56. No. 1, p.31-36
- Roseline P, N. Ganesan, CJM Tauro,. 2015. *A Study of Applications of Fuzzy Logic in Various Domain of Agricultural Sciences*. Intl. J. of Computer Applications. ICCTAC 2015. No. 1, p.15-18
- Rosman, R., Hermanto. 2004. Aspek lahan dan Iklim untuk Pengembangan Nilam di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam. Bogor: Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat.
- Yang, N. 2007. Prosedur Operasional Standar (POS) Budi daya Tanaman Nilam. Bogor: Balitro.
- Zadeh, L. A. 1965. *Fuzzy Set*. California: Department of Flectrical Engineering and Electronics Research Laboratory. University of Calofornia.